

纳米技术： 在前进中不断探索

在

1989年，IBM的研究人员不可思议地展示出一项科学突破：构建了一个由35个原子描绘的IBM公司图标，从此操纵单个原子的技能掀起了在纳米尺度上研究和开发的浪潮（纳米源自希腊语单词“侏儒”）。纳米材料是指至少在一维空间上小于或等于100纳米的材料，大约相当于普通病毒的大小。纳米技术是指创造、操纵和应用纳米级材料的技术，包括设计、控制和开发这些极小人造颗粒的独特物理、化学和电子特性的技术。

纳米颗粒的行为既不象固体、液体，也不象气体。这些颗粒存在于稀奇古怪的量子物理世界中。他们极其微小以至于可以逃避牛顿物理学法则而只遵循量子力学定律。这使得纳米材料在传导性、反应性和光敏性上表现出与众不同几乎神奇的特性。

“这就是当今纳米技术为何如此有用、令人感兴趣而又炙手可热的原因，”Rice大学生物和环境纳米技术中心(CBEN)教育和政策执行主任Kristen Kulinowski说。“存在于这个量子王国中的化学物会表现出一些新特性，是同类化学物在更大或更小的尺度时所不可能或不表现的特性。这些特性包括颜色、电子特性、磁性和机械特性。不同的颗粒，可以表现出其中一种或全部特性的改变，这就是纳米技术的威力。”

许多平素谨慎的观察家们也称纳米技术为“下一个工业革命”。监管联邦政府范围辽阔资助良好的纳米技术活动的跨机构组织——国家纳米技术开发署(NNI)——预测，到2015年或之前，仅就美国经济而言纳米技术的领域将扩展到1万亿美元。显然，在不远的将来，纳米技术将成为世界经济发展的重要因素和我们日常生活的一部分。研究“极小”的科学很快将会变得“极大”。

跳板

预示纳米技术浪潮到来的第一排波浪已经拍岸。在诸如体育用品、轮胎和耐污布料等产品中，工程化的纳米颗粒已经商业化生产、销售和使用。为提供无毒、无腐蚀、不易燃烧的用于中和泄漏化学试剂和化学战试剂而设计的纳米材料目前也已上市。甚至连防晒露也纳米化了——有些防晒露含纳米级二氧化钛或氧化锌颗粒，与那些大的白色不透明的同类颗粒不同，这些颗粒是透明的，但同样能有效隔绝紫外线。Fullerenes，这些用于从半导体到保龄球涂料的商业产品，已由日本的一家三菱工厂成吨地生产。

专家们说，几年内这些纳米产品对市场的初步影响还如同8声道磁带那样令人新奇。按照国家科学基金会(NSF)纳米技术高级顾问、NNI协调员Mihail Roco的说法，纳米技术将有四代，或四个发展阶段。我们现在处在第一阶段，即正在组装“被动”式纳米结构——设计出能完成单一任务的简单颗粒的阶段。Roco预言第二阶段将始于2005年，出现诸如特种执行器，药物输送装置及新型晶体管和传感器等“主动”式纳米结构的商业雏型。

纳米技术迈向第二阶段的迹象是，以Chad Mirkin为首的西北大学化学家最近宣布他们发现了准确建造纳米建筑材料的方法，并将他们装配成扁平或弧形结构。这种制造诸如束状、片状和管型等特殊纳米结构的能力为发明新型强大的药物传输系统、电子电路、催化剂和光捕获材料提供了保证。

Roco说，到2010年将会诞生第三代纳米材料，主要特征是以成千

上万相互作用的部件构成的纳米系统。几年后，将出现第一批“分子级”纳米装置，他们是由许多系统构成的系统，运作方式与细胞非常类似。

随着生产方法的完善和规模的扩大，预计纳米技术将迅速普及，引起各工业部门发生革命性变化，包括从电子技术到军火，从药品到农业，从我们用于驱动汽车和家庭照明的能源，到饮用水和食物。纳米技术是现代版的太空竞赛，全球各国不遗余力地倾注数十亿美元以支持纳米技术的研究、开发和商业化。

但从环境和人类健康的角度看，如同过去重大技术进步一样，纳米技术向人们提出了同样的难题：合理应用固然能带来巨大利益，但同时也有其固有的风险。如果纳米材料和纳米颗粒进入我们的土壤、水和空气（这种侵入几乎是难以避免的），无论是有意为之还是事故使然，结果会怎么样呢？如果它们不可避免地进入我们体内，不论是由于环境暴露还是靶向应用，会有什么危害呢？这些重大问题大多仍无答案，而较早的某些研究结果也不很可靠，最近关于Fullerenes对大嘴鲈鱼脑的氧化应激的研究就是证明 [Fullerenes and Fish Brains: Nanomaterials Cause Oxidative Stress, EHP 112:A568 (2004)]。

需要回答的还有另一些问题。是否有人正在研究健康和安全方面的问题？我们能否及时得到足够的切实可信的风险评估知识以确保公众乐意——甚或应该——接受纳米技术的广泛应用？纳米技术能顺利发展成为纳米世界吗？围绕纳米技术安全和信任问题的争议，就像基因改良生物(GMO)取得巨大成就时曾碰到的情况，这会阻

碍纳米技术的发展潜力吗？

Kulinowski 的意见表达了纳米领域倡导者几乎共同的感受：“我们认为纳米技术在一系列领域和应用中都具有造福社会的巨大潜力，从未来的癌症治疗到环境应用以及能源等。所以我们不愿看到由于工程化的纳米材料现有的或可预见的风险因素，而使纳米技术的潜力受到限制或扼杀。”Kulinowski 说，为保证纳米技术顺利地发展并得到公众大力支持，纳米技术支持者认为收集风险数据极为重要。这样，早在纳米技术发展初期，就能将所遇到的问题和困难解决。

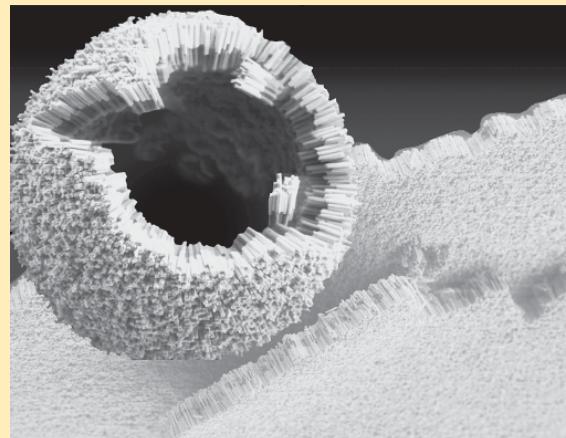
纳米技术贸易协会的纳米业务联盟执行主任 Sean Murdock 认为，可以避免以往那种推广新技术远远超前于了解相关的健康和安全信息的错误。“风险是有的，而且是客观存在，但风险是可以解决的，”他说，“权衡利弊，若有恰当的程序，我们能够处理好所有这些风险，我们将能减少这些风险，并对纳米技术的潜力有更深入的了解。”

纳米医学：微量保健

纳米技术最具价值的应用前景之一是众所周知的纳米医学。纳米医学包括发展纳米级工具和机器，将其用于监测健康、输送药物、治疗疾病和修复损伤组织，所有这些功能都是在活细胞或细胞器内的分子工厂中进行的。NIH的医学研究规划图(roadmap)——即 NIH 为加快研究步伐和加速新知识在生物医学防治策略、诊断和治疗中应用的主要计划——包含一项重要的纳米医学启

动项目，该项目以建立 3~4 个纳米医学发展中心为起点。这些多学科机构将是知识和技术开发的重地。从 2005 年 9 月开始这些中心每年将得到 600 万美元的资助。

今天，这个项目的长远目标很像是直接出自爱萨克·阿西莫夫的小说《奇异旅行》(Fantastic Voyage)中的某些情节：可以在肿瘤形成前搜寻到癌细胞并将其摧毁的纳米机器人……可以去除和替换细胞的破损部位的纳米机器……可在需要时和需要的部位精确地按规定剂量输送药物的分子大小的埋植泵……甚至能检测到体内各种细胞和每个细胞的病理改变或功能紊乱并立即将信息传给医生的“聪明”的纳米传感器。科学幻想可能很快就会成为科学现实——上述及其他许



微小的曲面：多聚纳米金棒自动聚合形成的曲面结构。控制纳米结构的大小和曲率的技术有助应用于药物传输和电子工业。

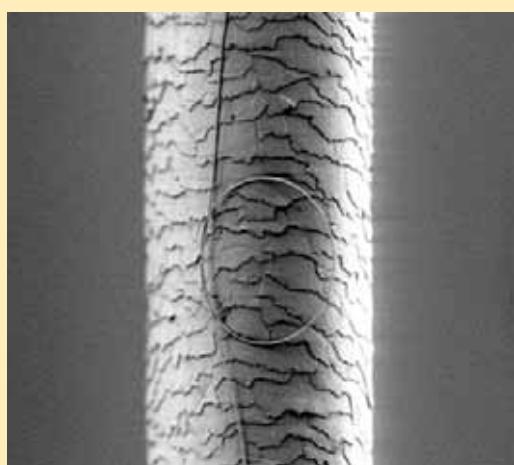
多纳米医疗革新目前正在开展。而且 NIH 预计其纳米医学项目将很快在 10 年内开始产生医学效益。Roco 还预见，到 2015 年在所有药物发明和药物输送技术中，应用纳米技术的将占一半。

专家们预测，纳米传感器还将提供重要的改进工具以实时测定内部和外部暴露、分析风险、联系暴露与病因学，刻画基因与环境的相互作用，最终改善公共健康。NIEHS 通过其所外基金和基础研究重点基金计划，为这些科学创新提供研究和开发资金。

例如，NIEHS 为威斯康辛州 Madison Platypus 技术公司的小型企业创新研究提供基金，以开发智能纳米传感器，并将其设计为对有毒化合物的暴露进行实时和积累测定的个人使用仪。将缩微光学和纳米材料技术结合可为毒物暴露的检测制成极敏感的平台，最初的原型装置将用于极微量有机磷杀虫剂暴露的检测。这个预期两年内将会上市的传感器，小而轻、无源、价廉且易操作，将直接应用于儿童化学环境的监测。

Platypus 公司执行总裁 Barbara Israel 详细描述道：“我们的产品适用于监测各种不同预期浓度和时间范围的需求。因此，能用于监测工人在生产中对有毒化合物的职业暴露，以及监测农业工人的田间暴露。”该公司也在开发能对环境中极低浓度的其它有毒物质立即作出反应的传感器，并希望在机场和火车站等设施的安全系统中将数以千计的传感器结成监测网络，当然亦可将其用于工业生产。

NIEHS 所外研究和培训部的危险和综合科学中心主任 William Suk 介绍，“这一技术将对我们的工作（即环境卫生科学的工作）方式起革命



两相比较：一根弯成环状的纳米线置于一根人头发前的显微照片。纳米线可以细到 50 纳米，大约是一根头发宽度的千分之一。

性的影响”。Suk负责监管该所的许多与纳米技术相关的所外基金。“该技术的真正潜力之一是能够真正了解基因 - 环境的相互作用，能够实现“omics”革命(指 genomics, proteomics and interactionomics 等革命)。它能够以如此简化的方式使你以综合全局的观点理解事物是如何相互联系的，”他说。“我们真正关注的是这些技术在系统生物学中的应用，以理解系统间是如何传递信息的——细胞是如何在它们之间，它们自身内部以及与我们体内其他细胞系统进行信息传递的。这些都是相互联系的。”

种类繁多，超级精密，符合 Suk 观点的纳米生物传感器在 NIEHS 经费的支持下正在顺利开发。例如密歇根大学神经毒理学家 Martin Philbert 正在完善一种传感器，用以测定和识别神经元线粒体内的化学紊乱，并最终可能做到干涉或预防此类细胞水平的紊乱。圣地亚哥加利福尼亚大学药理学、生物化学和化学教授 Roger Tsien 正在研制毒性传感器，它能实时显示毒物暴露情况和由其所致的基因水平紊乱。Lawrence Livermore 国家实验室的科学家 Kenneth Turteltaub 应用加速器质谱仪在纳米结构水平上观察暴露于致癌化学物的生物标记物，以期给出原子水平上紊乱的特征。Suk 说，今后五年内所有纳米装置将在环境卫生领域作出重大贡献。他说当纳米技术充分发挥作用时，毒理基因学将告别其摇篮期，并完成她对显著改善公共卫生的承诺。

大世界中的小改进

虽然纳米技术在环境应用中的研究和开发仅是纳米技术工作比较狭窄的领域，但其发展十分迅速。同其他领域一样，纳米材料在此领域内展现了一系列令人眼花缭乱的效益。纳米技术可应用于环境领域的两个方面，一方面是清除已经存在的污染，另一方面是减少或防止污染的产生。可以预期在不久的将来纳米技术将对环境监测和环境卫生科学的进步作出重大贡献。

隶属于国家环境研究中心的美国环保署 (EPA) 的实效科学计划 (STAR)，是最早投资和倡导纳米技术应用于环境科学的机构。从2001年起，该机构将其小部分编制基金的备用预算拨给纳米技术。“我们决定首先把纳米技术应用于环境科学，”规划处负责纳米技术的 Barbara Karn 说。“我们希望为新技术开创成功案例，以利于解决 EPA 的遗留问题。”

这些遗留问题中污染的土壤和地下水是最突

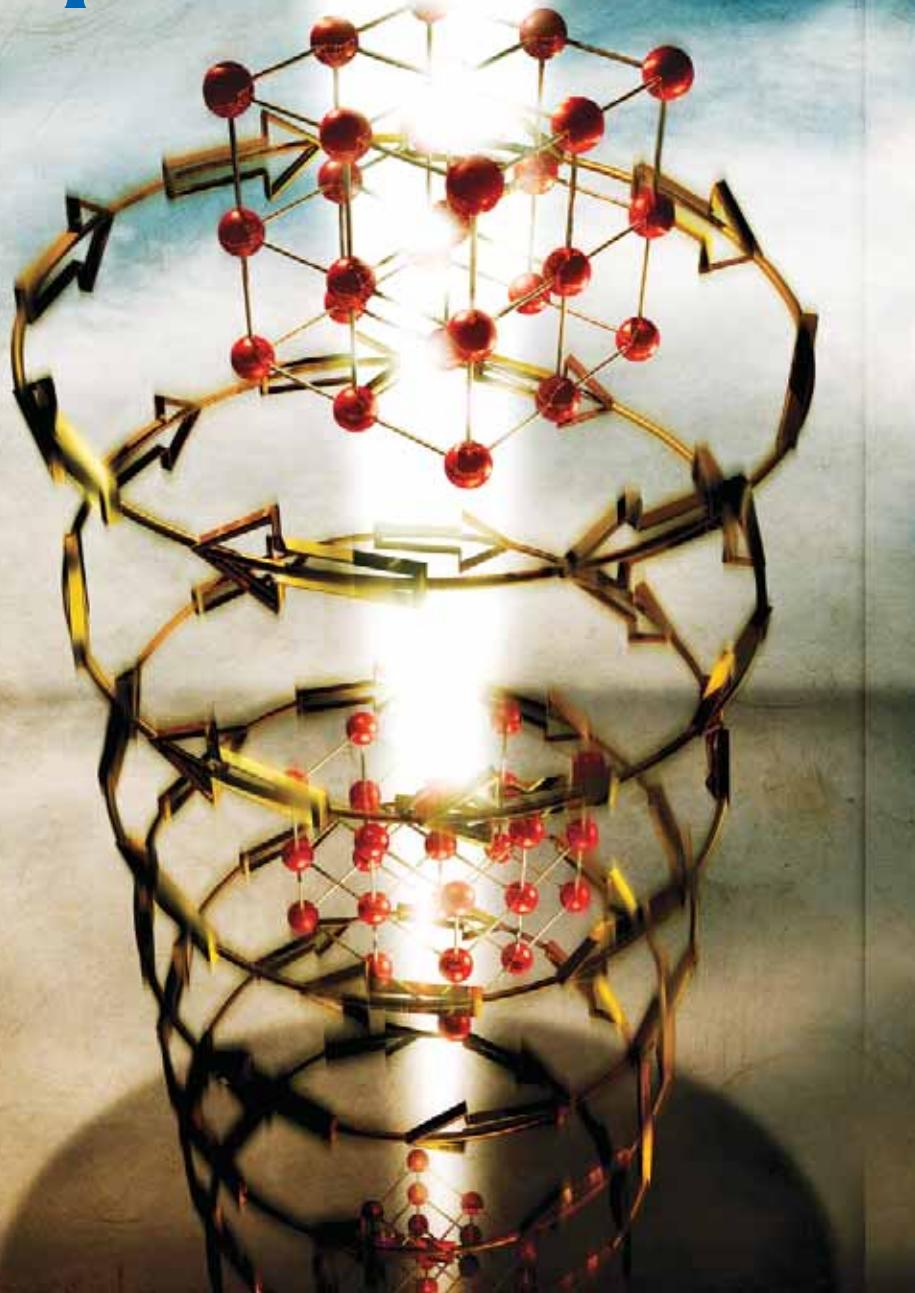
出的，而以纳米技术为基础的处理方法已经取得了显著进展。Lehigh 大学的环境工程师 Weixian Zhang 受到 STAR 资助，同时也得到 NSF 经费。从 1996 年起开始研究用纳米级金属颗粒，尤其是纳米铁颗粒整治污染的方法，他发现纳米铁颗粒是强力还原剂。他说“你可以使用纳米铁颗粒对任何可被降解或通过还原转化的污染物进行处置。”从 2000 年起，他用该方法进行现场测试，不仅进行了试点性研究还在几家受 PCBs、DDT 和二噁英等毒物污染的工业区进行试验，其结果令人鼓舞。

与现有方法相比，Zhang 的纳米整治技术具有许多潜在优势。其实施非常简单——将纳米颗

粒悬浮在浆液中，直接泵入污染区中心部位。与之相比，目前应用的方法常要挖掘土壤进行处理。“你可以将[纳米颗粒]注入到某些难以处理的环境中，例如跑道下，建筑物下，或其他不适用于传统工程方法的场所。” Zhang 说。

纳米材料拥有高比例的表面原子，而任何物质的表面正是反应发生的地方。由于纳米颗粒的表面积巨大，因而具有高度表面活性，耗用的材料也少得多。表面积的增大可缩短中间体的形成时间而使反应加速——得益于生物降解，此处的中间产物有时比其初始底物的毒性更大。而且 Zhang 的方法也快得多。“常规技术利用生物过





程，需要几年时间。而纳米技术由于活性高，只需很短的时间即可达到常规技术的整治效果，”他说。大多数情况下，使用纳米铁颗粒只需要几天就能看到污染物被中和为无毒化合物。

目前 Zhang 正致力于扩大纳米铁颗粒的生产，以降低成本提高竞争力，并计划创办以他发明的技术为基础的企业。他的方法只是几十种正在开发中的纳米处理方法之一，但也许是最近大规模实施的方法。Zhang 预计在一两年内，使用纳米金属颗粒的项目将有数十以至数百个。而这类“被动性”应用只是开始。

Zhang 说“将来，我们会拥有更复杂的装置，

不仅可用作处理装置，还可用作具有检测和通讯功能的传感器。你可以将它置于地下，接收各种环境参数的反馈。”这类装置使得处理人员具有一种能力，能够确切知道何时处理已全部完成，这是目前尚无法解决的问题。用于环境监测，能对污染物进行实时原位检测和分析的类似纳米传感器也正在开发中。

纳米技术所带来的环境效益还将进一步发展。例如，通过使用更细、更“聪明”的选择性滤膜等纳米材料带来的膜技术进步，能极大地提高水的过滤、淡化和污水处理的效果。预期该技术不但会迅速推广，而且极其简单和低廉。在经

历漫长的开发过程后，预计纳米技术将最终缓解困扰世界许多地区缺乏清洁、充足、廉价饮用水的状况。

Murdock 说纳米技术对推动经济发展的能源基础设施的改建提供了的机会，这将很可能有助于避免未来的大量污染。能源结构引发的许多问题正是过去几十年环保人士所忧虑的。通过氢能和太阳能技术的进步，纳米材料和装置有可能在能源生产上取得巨大突破，甚至能极大地改善碳能源的效率和清洁度。例如，人们正认真地讨论通过使用纳米催化剂将煤碳直接转变成较清洁的柴油和汽油的方法，纳米技术有可能在能源生产中持续拓展煤碳利用。

另一方面，应用纳米技术照明已成现实，现在美国各地的交通红绿灯使用微型发光二极管，其寿命比普通灯泡长而省电。NNI 已经计划在家庭和办公室照明中广泛推广该技术，从而使美国能源消耗降低 10%，每年降低碳排放量达 2 亿吨。

纳米材料的极高反应活性，还使“绿色”化学和“精确”制造成为可能，通过一个原子一个原子地反向制造化学品和其他产品。这一发展将使低毒产品的制造成为可能，同时降低或消除了有害废物的产生和大量有毒原料的用量，这就是所谓的资源需求减少。绿色化学的概念应用在纳米颗粒的自身生产中。俄勒冈大学化学家 James Hutchinson 最近申请了一项以更卫生(且更快、更低廉)的方式生产纳米金颗粒的专利，纳米金颗粒在半导体工业中尤为重要。

受以上和类似发展所鼓舞，Karn 说：“应用这一新技术，我们确实能做到不产生废物，并以有益于环境的方式来生产这些纳米颗粒，这样我们就不用担心废物的排放，也没有随后清理的后顾之忧。”

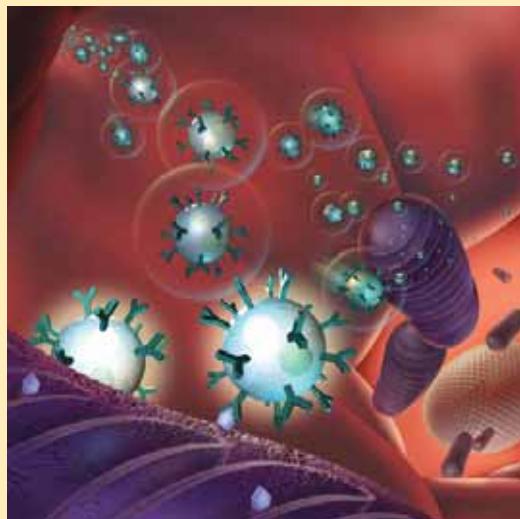
黄灯警告

赋予工程纳米颗粒神奇功能的特性同时也是人们所关注的纳米颗粒与生物系统相互作用的性质：在一定的生理环境下，它们的大小、形状、高反应活性，包被方式及其它特性可能是有害的。最近发表的几项研究表明有些纳米材料并非本质上无害的。有些纳米颗粒能轻易进入人体，蓄积于器官系统中，并穿透单个细胞，引起类似环境纳米颗粒(环境科学中称为超细颗粒)所引起的炎症反应，已知这些颗粒常比同类较大颗粒的毒性大得多。环境颗粒与工程纳米颗粒的主要差别是前者的形状、大小和组成迥异，而后者是同种、

均一的化合物。

Rochester 大学环境毒理学家 Günter Oberdörster 在 2004 年 6 月《吸入毒理学》(Inhalation Toxicology) 杂志上发表的啮齿类动物研究表明，吸入的纳米颗粒蓄积在大鼠的鼻腔、肺部和脑部。国家航空和空间总署的科学家 Chiu-Wing Lam 最近在 2004 年 1 月的《毒理科学》(Toxicology Sciences) 上报道，将纳米碳管悬浮液(研究和使用得最广泛的工程纳米颗粒之一)直接置于老鼠肺部，引起了肉芽肿，这是一种干扰氧吸收的较少见的损伤。杜邦研究员 David Warheit 在同期《毒理科学》(Toxicology Sciences) 杂志上报道了用大鼠做的类似实验，发现动物肺中有免疫细胞聚集在纳米管团块周围。在最高剂量时，由于纳米管结块阻塞气管通道，15% 的大鼠窒息。虽然 Lam 和 Warheit 的研究并不代表实际生活中的暴露可能性，但它们的结果却令人不安，至少表明纳米管有生物学活性，并可能有毒。

发表在 2004 年 7 月 EHP 杂志上的一项研究表明暴露于液态 Fullerenes 的大嘴鲈鱼脑中出现氧化物的聚集(炎症的症象)，该报道引起了也许是迄今为止对纳米材料健康研究实验的最大关注和高度警觉。南卫理公会大学环境毒理学家 Eva Oberdörster (Günter 的女儿)，称自己对该研究受到全国主流新闻的大量报道感到震惊。她立即强调，虽然有报道称该鱼发生了“脑损伤”甚至是“严重脑损伤”，但她实际上将自己的发现定性为“脑部有明显损伤，这点显然不同于脑损伤。”她说在暴露于相当高剂量的 Fullerene 48 小时后，鱼可能产生如同剧烈头痛样的效应，但它们还是



探索内部世界：为揭示给细胞带来功能的离子交换模式，将表面镶嵌了分子、而分子表面又结合了锌、钙、钾等离子的纳米探针注入细胞，并用计算机模型解释探针在获取靶离子时所释放出的荧光信号。

在暴露后存活了下来。至于炎症，Oberdörster 说可能是对外源性紧张因子的适度反应，也可能是真的生理损伤症状。她打算进一步研究这一问题，用设计的基因点阵实验更详细地探索相关炎症反应的特点，并且观察鱼能否真正代谢并排出这些颗粒。

Oberdörster 将这些发现称为“黄灯，而非红灯。”并进一步解释道，从吸入研究和鱼的研究发现的证据表明纳米颗粒可能与组织发生反应并引起炎症。“所以下一步要做的是只有在对它们进行更广泛研究后，再让这些产品进入市场，确保它们是安全的，从而保护消费者。”她说。

Kulinowski 认为早期研究中提出的问题要多于得到的答案，她告诫道，对于个别研究结果不必作过多解释。她乐观地认为，随着技术进步，可将工程纳米颗粒潜在的副作用降低到最低限度，甚至完全消除。“我所预见到的好消息就是，通过对我们构建的纳米颗粒的控制，我们就能改造它们用于造福，而非风险，更非危害。”这又完全与颗粒的表面特性有关，她说：“如果我们能够控制纳米颗粒的表面特性，我们就能消除其毒性。就象拨动台灯的调光开关一样，可以将台灯的亮度调到远低于我们的检测下限。”

纳米技术的主要问题

纳米技术的成就很快将会惠及地球上的每个人。但无论是支持者还是怀疑

者，有一个观点其实是一致的：即纳米技术对人类健康和环境的潜在负效应，会影响到纳米技术潜在效益的充分实现。人们在大力推广纳米技术的应用，但对其负作用的认识是否能跟得上？

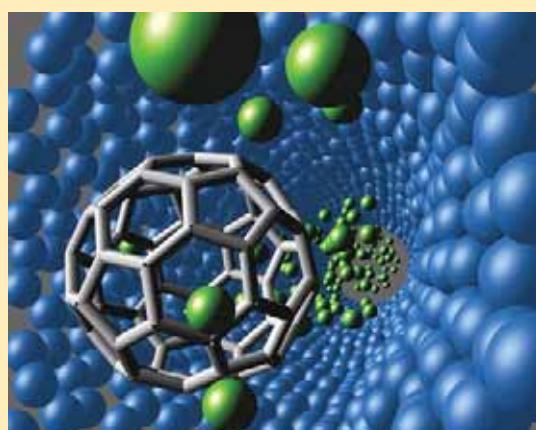
2002 年 8 月，加拿大环保团体，一个曾在上世纪 90 年代反对接受 GMO_s(转基因生物)的争论中扮演重要角色的“反对侵蚀、慎用技术、重组资源行动组织”(Action Group on Erosion, Technology, and Concentration, ETC 组织)，呼吁在保护工人包括实验室工作人员在内的安全保护条例未出台之前，应在全球范围内暂停工程纳米材料的研究和商业化。他们引证说纳米材料潜在的负面影响的研究数据不足，而且无论是在实验室还是在生产场所，纳米颗粒的生产操作均无专门监管，也未制订最佳防范措施。

也许是巧合，自 ETC 组织发起呼吁后这两年来，有关人员和部门都对以前未知或没有考虑的问题加快了研究及行政管理的步伐。所有曾关注过 GMO_s 的人员，显然都赞同这种观点：如果人们对纳米技术对人类健康和环境可能造成的风险没有全面和透彻的了解，是不可能取得纳米技术的丰硕成果的。

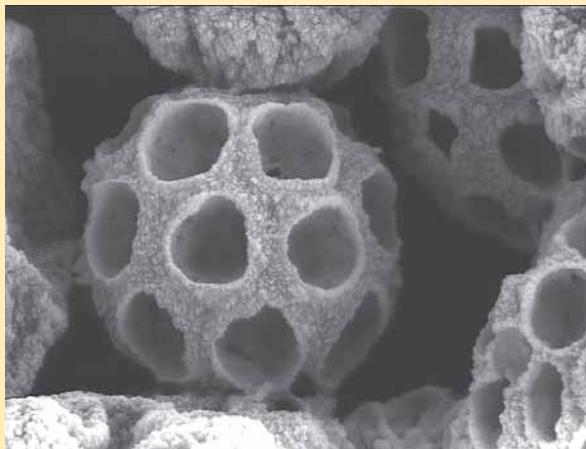
“从长远来说，如果我们能保证事先解决人们所关注和存在的问题，我们就能应付自如，”Murdock 说：“这并不表明我们对探索新领域过分敏感或望而却步，因为从根本上说只有通过探索我们才能取得进步。但这种探索需要权衡利弊，不断检验其负面影响并加以调整。”

Roco 在 NNI 一直负责监管全球纳米技术的安全隐患和潜在的社会影响，他同意目前是到了应该进行可靠的风险评估的时候了。“这不应是马后炮，不应是在你做完另一项研究后才做的事情，而必须是从一开始就做的事情，是研究整体的一部分。你必须关心活动的整个周期，而不仅仅是关心你做某件事的第一阶段。”

自 2001 年成为 NSF 建立的六个纳米科学和工程中心之后，CBEN 就开始研究纳米颗粒对环境的影响了。Kulinowski 指出最近在纳米技术的环境卫生和安全方面的研究兴趣和资助骤然增多。“在过去一年半我们已看到了这一问题的巨大变化，我们从无人理睬到如今人们主动靠拢，”她说。“最鼓舞人心的是联邦政府的反应。我们也看到了工业界的强烈响应……给予了我们向纳米技术产品商业化迈进的希望，这些问题将在产品



形状和大小：纳米液压活塞视图。由常见纳米技术构件组成，包含一根纳米碳管(蓝色)，氦原子(绿色)和一个“buckyball”分子(灰色)。



微型海滨遮阳伞：二氧化钛微球（直径约1–50微米）有紧密包裹的球形内含物，在防晒霜中作为一个小“光学微晶”有效地散射光线。

开发时，产品上市前或上市时得到解决。”

批评者，甚至有些纳米活动的参与者均认为与政府投资在纳米技术开发的近10亿美元相比，负面影响研究资金仍显不足。不过，加强对纳米技术负面影响的研究的努力显然正在加强。新的重要研究项目正在进行中，联邦政府的管理机构与参与研究的组织间的协调和合作正在日益增进。

NNI是核心所在，许多机构参与其活动。包括NIEHS、EPA和国家职业安全与卫生研究所(NIOSH)在内的几个联邦机构的代表组建了纳米技术对环境和健康影响的工作组。工作组每月聚会一次，分享知识，协调行动，确定研究差距和目标，提交法规和术语命名这类紧急议题。

深入了解工程纳米材料毒理学基础知识的两项重大研究项目刚刚开始启动，它们将对知识库有重大贡献，以便将来能更理性地评估风险。

其中第一个重大项目是由CBEN于2003年提请国家毒理计划(NTP)进行的纳米材料研究。NTP总部设在NIEHS，已展开了对有代表性的工业纳米材料安全性研究项目。NTP的项目负责人、Nigel Walker说，“我们项目的目的实际上是指导纳米材料工业，确定导致纳米材料生物相容性相对于纳米材料毒性的关键参数。这样我们就能避免遇到如基因改良食品所遇到的问题，即工业和技术界不了解生物相容性造成的问题。”

NTP项目的重点是研究单壁纳米碳管、二氧化钛、量子点(用于图像设备的荧光半导体纳米晶体)以及Fullerenes。由于现今使用的纳米材料的最可能暴露途径是通过皮肤，有几项研究主要研究皮肤毒性。但也研究其他暴露途径，研究这些暴露的一般毒性、急性、亚急性和慢性毒性。

NTP研究项目的目标之一是建立纳米材料的化学、物理学和药物动力学性质的模型，以帮助评价新出现的工程纳米结构。根据NIEHS环境毒理学计划副主任John Bucher的说法，该项目的目的并非为了预防或了解根据“纳米”规则生产的每一种材料的毒性。相反“我们所要做的是了解纳米材料的一些基本性质，它们如何运动，具有何种毒性，通常针对哪些器官系统，表面包被的效果是什么。我们并未试图将世界从纳米技术的威胁中解救出来，我们更不相信目前

甚至将来的世界必定会在健康问题上受到纳米材料的重大威胁。但对纳米材料的安全问题一无所知促使我们必须对这一领域进行研究。”

NTP还与佛罗里达大学合作，计划于2004年11月召开研讨会(会议已召开。编者注)。参加者包括毒理学界科学家、环境工程师及制药和化学工业的代表研讨会的中心议题是分析纳米材料的暴露以及评价其毒性和安全性的最佳方法。

Walker认为这些努力适逢其时。“如果两三年前我们进行这一研究的话，我们可能是无的放矢。”他说，“你既不希望干预得太早，也不希望干预得太晚。现在正是恰当的时机……我们将研究进展情况公布于众，因为NTP是完全公开的，所有资料最终会向外界公布。”

第二个重大项目是以NIOSH为首的生产与使用纳米材料相关的职业卫生风险研究。该研究所最近成立了一个纳米技术研究中心以协调、追踪、测定结果，并在全所传播纳米技术相关活动的成果。

NIOSH还推行一项为期五年的多学科项目，称之为NIOSH纳米技术与卫生和安全研究计划。如同NTP工作一样，其理念是在工业开发的早期发现其风险，目前工作场所是最可能的暴露地区。“有人担心这些材料所具有的未知作用，人们有兴趣在早期实施常规工业卫生，常规控制措施，最佳工作实践，”该计划的项目协调人及以颗粒表面积确定剂量研究项目的负责人Vincent Castranova说。“通常，对人们只在有证据证明这些材料的致病性后才开始感兴趣去研究。这是另一种情况，人们的忧虑足以引起工业界和政府机构的重视，在我们充分了解其健康影响前，就要

想法改进工作条件，并事先采取预防措施。”

NIOSH的另一位科学家Andrew Maynard正在研究空气中纳米颗粒的定性和监测的方法。Maynard说，“我的项目的一部分是开发和利用定性技术，我们因而能够非常准确地理解颗粒的物理和化学特性，以及用于这些实验的颗粒浓度。我们还将研究如何有效监控工作场所纳米颗粒暴露的方法，这样我们能拥有可供工作场所使用的简便、有效而廉价的技术。”

虽然纳米材料对于皮肤的暴露发生于使用纳米材料的防晒霜和化妆品中，而工作场所纳米材料暴露的最可能途径是通过吸入，所以计划中的其他项目将集中于肺毒性问题的研究，尤其是关于纳米碳管的研究。这些问题很棘手，这也是因为纳米材料的独特性质。技术上它们是超细颗粒，但能以同样方式对它们进行判断吗？

“这是目前最具争议的领域之一，”Maynard说。“到何种程度你能把工程纳米颗粒看作仅是另一种超细颗粒？应该说我们对纳米材料的大多数担忧是受我们对超细颗粒认识的影响，超细颗粒致炎性和毒性都要比细微颗粒显著得多。”

“另一未解决的问题是这些纳米颗粒倾向于聚集，聚集物的直径常倾向大于100微米，”Castranova补充道。“那么，它们是否表现为微细颗粒特性，而非超微颗粒特性呢？这取决于处理时或一旦进入肺部时，它们是否解聚，我们对此尚不清楚。它们进入肺部、透过气血屏障或引起炎症的能力会受到解聚作用的影响。”NIOSH正在帮助组织首届国际纳米材料职业卫生不良影响研讨会，定于10月(2004年。编者注)在英国召开的这个会议将讨论以上问题。

波浪效应

NIOSH和NIOSH正在开展新的重大项目，同时其他研究部门也有许多正在研究的项目，或刚开始进行的项目。NNI正在增加其对纳米技术影响研究的支持，并在最近召开了由25国和欧盟纳米技术项目负责人参加的具有历史意义的国际会议。2004年6月17–18日在弗吉尼亚阿灵顿召开了“审慎负责地研究和开发纳米技术”的国际间对话，旨在确立全球观点，扶植纳米技术并使其开发受到应有的关注。同时重视和尊重已被提出的社会、环境、卫生和安全等问题。

Roco称该会议是“具有历史性的，”并建议建立一个常设的国际组织致力于纳米技术开发。与会者同意建立一个“筹备组”负责探讨可能的

纳米技术一知识一Y

中心及其项目

其他资源

国家纳米技术项目组 (NNI)

19家机构的联合，以监督联邦政府的分布广泛、资金充裕的纳米技术活动。

<http://www.nano.gov/>

生物与环境纳米技术中心 (CBEN)

CBEN 坐落于休斯敦的 Rice 大学，2001 年有 NSF 设立，为六家纳米科学和工程中心之一。

<http://www.ruf.rice.edu/~cben/>

国家职业安全与卫生研究所 (NIOSH)

NIOSH 对纳米材料的职业安全卫生方面尤为关注。本页包括了 NIOSH 的纳米技术卫生和安全研究计划和 NIOSH 的纳米技术研究中心的信息。

<http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/>

NIH 医学研究路线图：纳米医学

NIH 医学研究路线图在未来几年中将为 NIH 的优先研究项目提供一个框架。路线图含有了一个重要的纳米医学项目，其中包括建立跨学科的纳米医学开发中心。

<http://nihroadmap.nih.gov/nanomedicine/index.asp>

2020 化学工业展望技术合作联盟

这一由工业界领导的联盟其宗旨是加速化学工业的革新和技术开发。该联合机构与 NNI 和美国能源部能源效率和可再生能源办公室合作，在 2003 年发行了一部综合《化学工业纳米材料设计研究与开发路线图：从基础到功能》的白皮书。

http://www.chemicalvision2020.org/pdfs/nano_roadmap.pdf

国家毒理学计划 (NTP) 纳米技术安全评估

CBEN 向 NTP 指定用于研究的纳米材料。根据 CBEN 的提名，NTP 在今后几年中制订文本和研究方案，以测试多种纳米材料在动物模型中的毒性。

<http://www.niehs.nih.gov/oc/factsheets/nano.htm>

纳米商业联盟

这一纳米技术贸易协会正开发一系列项目以支持和加强纳米技术商业界合作。

<http://www.nanobusiness.org/>

腐蚀、技术和浓度行动集团 (ETC 集团)

加拿大环境保护激进团体，呼吁在世界范围内停止工程纳米材料的研究和商业化。

<http://www.etcgroup.org/>

最近和即将进行的活动**技术和环境卫生：纳米技术影响的公众讨论**

医学研究所举办的环境卫生与科学和医药圆桌会议于 2004 年 5 月举行，与会者讨论纳米技术对人类和环境卫生的负面影响及其带来的立法和社会问题。

<http://www.iom.edu/subpage.asp?id=19612>

国际纳米技术负责的研究和开发对话

NNI 聚集了世界各国纳米技术项目的负责人参加 2004 年 6 月举行的这届研讨会

<http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/dialog.htm>

首届国际纳米材料对职业卫生的负面影响研讨会

这届研讨会由 NIOSH 、英国卫生与安全实验室及英国卫生与安全管理机构共同举办，将于 2004 年 10 在英国召开，讨论与纳米材料有关的工作环境问题。

<http://www.hsl.gov.uk/news/nanosymp.htm>

NTP 与佛罗里达大学联合，也计划于 2004 年 11 月举行研讨会，集中讨论如何更好地评估纳米材料的暴露及其毒性和安全性。

行动、机制、时机、机构框架以及原则，以建立永久性机构来保证在纳米技术研究和开发中的国际间对话、合作和协调。

ETC 组织执行总裁 Pat Mooney 对该会议也非常赞赏：“像这样的国际会议我们还是第一次开，我认为这是个非常鼓舞人心的标志。”

今年早些时候召开的另两次重要国际会议也作出了令人鼓舞的承诺和进展。NIEHS 3月召开了题为“改善危险阶层及疾病预防的技术”研讨会，会议召集专家组起草了 NIEHS 未来几年应如何将纳米技术纳入其研究日程的专门建议。与会者认为 NIEHS 应作为牵头人，为开发检测各种化学物暴露、清除系统中的有毒物质、干预和逆转暴露引起的有害影响等方面的研究提供一个

平台。之后，医学研究院的环境卫生科学、研究和医药圆桌会议也在 5 月召开了为期一天的公共讨论会，会上专家和公众代表从公共卫生角度探讨了纳米技术引发的问题。讨论会阐述了纳米技术的潜在公共卫生效益，但同时也承认人们对其毒理学方面的担忧。这些会议均为科学界和公众传递了信息，鼓励审慎负责地开发纳米技术。

认识到眼前的巨大机遇，化学工业界也对纳米技术负面影响的研究高度重视起来。名为“2020 化学工业远景技术合作”的国际财团，与 NNI 和美国能源部、能源效率和再生能源办公室合作在 2003 年发表了名为《化学工业研究与发展纳米材料规划图：从基础到功能》的综合白皮书，文件呼吁美国化学公司开展空前的合作与协作，

以促进纳米化学工业的长期繁荣，并强调环境、安全和健康知识是其重要的组成部分。白皮书说“纳米颗粒应用的预期增长使得有必要同时进行危害确认，暴露评价和风险评估”，“化学公司准备在这一过程中扮演领导者的重要角色，了解材料性质，确认其潜在风险，为它们的安全有效使用提供指导。”

EPA 的 STAR 项目计划在不久的将来为纳米材料技术的影响研究提供新的资助。而 CBEN 正在继续其称为“湿—干界面”的工作——工程纳米材料与在液相或水基环境中有活性的系统（包括生态系统和生物）间的相互作用。“我们有几项研究，可称之为影响研究，” Kulinowski 说，“观察纳米材料进入土壤或供水系统后会发生什么”。通过了解纳米颗粒（通常不溶于水，因而是“干”的一面）如何与液相环境（即“湿”的一面）相互作用，研究者希望能建立改善人类健康和环境的技术，例如利用生物相容性纳米颗粒或纳米结构催化剂以降解有机污染物。湿—干界面决定纳米材料在环境中的命运和运输也扮演着重要的角色。

EPA、FDA、职业安全和卫生管理局这类管理机构全都参与了 NNI，认真跟踪研究进展，建立自己的知识库，同时密切关注其管辖权内的纳米专门管理框架的最终展开和实施。目前，人们的一致意见似乎是现有规章制度的力度已足以体现大众对纳米材料的关注，但当其风险和危害性被更清楚地了解时，人们的态度可能会改变。

虽然 ETC 组织未取消其停止纳米技术试验的呼吁，但似乎也受到了新进展的鼓舞。“我们确实感觉到我们得到了政府的合理回应，这是我们所期待的。Mooney 说，“我们正在做工作，纠正我们指出的问题”。Mooney 说，由于各国已实施纳米技术实验室条例，他的组织不再要求这些国家停止试验纳米技术。

看起来，所有这些研究活动适时地融合在一起。纳米技术的快车已驶离站台，风驰电掣般地将我们带到意想不到的梦幻世界。虽然公众对纳米技术的不信任有可能使列车脱离轨道，但许多乘客都希望随着对纳米技术潜在效益与危险的逐步了解将会保证列车在轨道上正常行驶，继续开往探索的旅程。

—Ernie Hood

译自 EHP 112:A740–749 (2004)